

O Uso de Controladores Automáticos de Vazão em Aplicações Aéreas

Eduardo Cordeiro de Araújo¹

1. Introdução

A aplicação aérea se caracteriza pela grande velocidade de deslocamento do veículo aplicador. Os aviões envolvidos em aplicações aéreas o fazem usualmente com velocidade superior a 160 km/h. A “**Taxa de Aplicação**” também denominada “Volume de Aplicação”, expressa em “Litros/Hectare”, é uma função direta da **Vazão** (em litros / minuto), da **Velocidade** (km/h) e da **Largura de Faixa** (m).

Considerando uma aeronave deslocando-se a 160 km /h, cobrindo uma faixa de 15 metros de largura e com uma vazão de 120 litros / minuto, pode-se facilmente determinar a “Taxa de Aplicação”:

Em primeiro lugar calcula-se a Área Aplicada por Minuto, que é função da velocidade e da largura de faixa:

$$\text{Hectares/Minuto} = (160\text{km} \times 1000\text{m}) \times 15\text{m} / 10.000 \text{ m}^2 / 60 \text{ min} = \mathbf{4,00}$$

Em segundo lugar, calcula-se a “Taxa de Aplicação”:

$$\text{Taxa de aplicação (l/ha)} = 120 \text{ l/min} / 4,00 \text{ ha/min} = \mathbf{30,0 \text{ litros / hectare}}$$

Então, desde que o avião mantenha sua velocidade constante (em relação ao solo) em 160 km/hora, o espaçamento entre faixas contíguas seja de 15 m e a vazão também constante de 120 litros por minuto, a Taxa de Aplicação também se manterá constante em 30 litros/hectare.

Se, naquele volume de 30 litros estiver contido um defensivo na proporção de 2 litros para cada 30 litros da mistura defensivo+água (a “calda”) então a DOSE do produto será de 2 litros/hectare.

Temos então que ter controle sobre as quatro variáveis acima referidas, para assegurarmos uma aplicação uniforme. Recapitulando:

- Velocidade
- Largura de Faixa
- Vazão, e
- Proporção de produto na “calda”.

Antes da introdução do sistema DGPS (Sistema de Posicionamento Global, Diferencial) , o espaçamento entre duas faixas consecutivas, igual à Largura de Faixa, era determinado por auxiliares (os “bandeirinhas”) que mediam da melhor forma possível aquela largura e se posicionavam sobre o eixo de cada faixa, acenando suas “bandeiras” para orientar o piloto. Com o advento do DGPS (introduzido no Brasil em 1995), esta tarefa penosa e de pouca precisão passou a ser efetuada pelo equipamento instalado a bordo da aeronave, traduzindo os sinais recebidos dos satélites GPS em orientações luminosas (a “barra de luz”) para uma orientação precisa do piloto. Estava assim resolvido o problema do espaçamento correto e uniforme das faixas de aplicação.

No que se refere à vazão, o método mais tradicionalmente usado era o de efetuar uma aplicação

¹ Eng.Agrônomo, Agrotec Tecnologia Agrícola e Industrial Ltda. www.agrotec.etc.br

simulada, cronometrando o tempo de aplicação e depois obtendo a Vazão (litros / minuto) pela divisão:

Vazão = Litros aplicados / tempo. No exemplo anterior = 120 **litros / minuto**.

Após a introdução do DGPS, embora tal cálculo ainda possa ser – e é feito em muitos casos – o mais comum naturalmente é obter diretamente a “Taxa de Aplicação” pela divisão do volume aplicado pela área aplicada, indicada com precisão pelo DGPS.

Taxa de Aplicação = Litros aplicados / área. No exemplo anterior = 30 **litros / hectare**

Como as medidas de largura das faixas e da área passaram a ser muito mais precisas com o DGPS, os erros de “calibração” que conduzem a erros na taxa de aplicação e dosagem passaram a ser dependentes quase que apenas de variações da VELOCIDADE do avião. Assim, os sistemas de controle automático de vazão são, todos, destinados a corrigir as variações de velocidade do avião em relação ao solo.

2. Aplicação Aérea com Taxa de Aplicação Constante.

O DGPS, ao informar com precisão a velocidade de deslocamento, de forma instantânea, possibilita que o equipamento de pulverização do avião varie a VAZÃO (litros / minuto) proporcionalmente à variação de **velocidade**, de forma a manter razoavelmente constante a TAXA DE APLICAÇÃO (litros / hectare). Os controladores automáticos de vazão já se encontram disponíveis há vários anos, embora seu uso ainda não esteja totalmente disseminado no Brasil.

Uma das razões para a ainda pequena adoção de tais acessórios, é que nem todos os equipamentos DGPS em uso no Brasil têm a capacidade de serem interligados a controladores automáticos de vazão.

Por exemplo, os DGPS da marca **Satloc** (Hemisphere GPS LLC) assim se distribuem, conforme sua capacidade de controle automático de vazão pelo DGPS:

- Airstar 98, 99 e 99.5 : SIM
- Airstar M3 : SIM
- Satloc Lite : SIM (com limitações)
- Litestar I : NÃO
- Litestar II : NÃO

A seguir um esquema típico de Controlador de Vazão acoplado a DGPS:

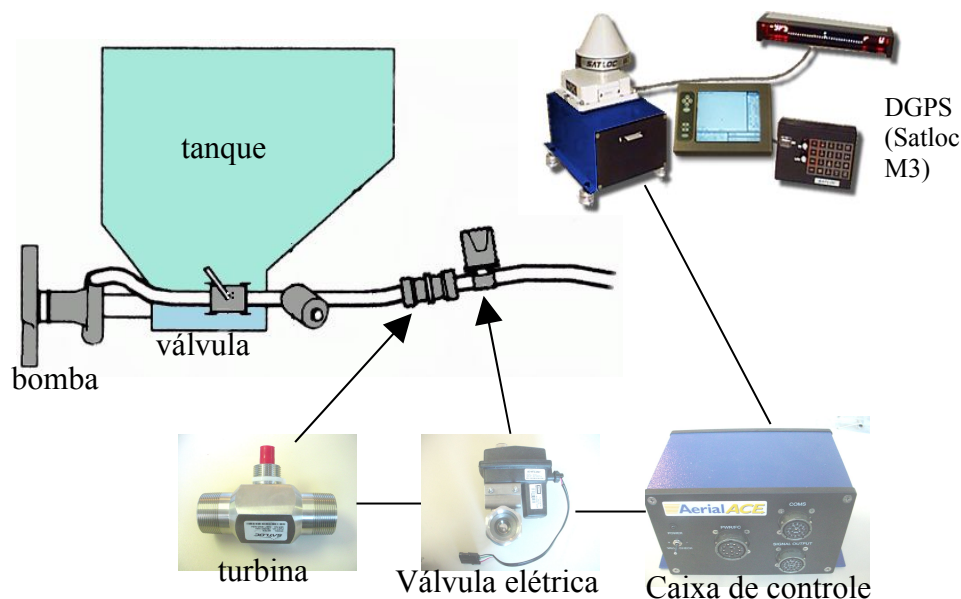


Figura 1 – Controlador Automático de Vazão “Aerial Ace” (Hemisphere GPS LLC / Satloc)

O funcionamento do sistema basicamente se dá da seguinte forma:

Uma vez aberta a **válvula manual** (válvula “by-pass”), o líquido em aplicação passa pelo interior da **turbina**, fazendo o seu rotor girar, em velocidade proporcional à vazão. A turbina, assim movimentada, gera um sinal constituído por pulsos elétricos, sendo um determinado número de pulsos produzido a cada unidade de volume (**pulsos / litro**). Este número é único e característico de cada turbina, sendo determinado na sua fabricação e gravado nela. Este número de pulsos/litro (ou pulsos/galão) é conhecido como “**número de calibração da turbina**” e é inserido manualmente pelo piloto através do teclado do DGPS. Os sinais produzidos pela turbina são enviados à “**caixa de controle**” através de um cabo, são processados e enviados à CPU do DGPS, que os remete para apresentação (em litros/minuto ou litros/hectare) na tela ou mostrador do DGPS. Até aqui, então, o equipamento funciona como um **Monitor de Vazão**.

O Computador do equipamento, processando o sinal várias vezes por segundo, compara a informação remetida pela turbina (litros/minuto) , com a vazão necessária em cada circunstância. Ou seja, calcula a vazão, conforme visto anteriormente, usando os parâmetros LARGURA DE FAIXA, TAXA DE APLICAÇÃO e VELOCIDADE NO SOLO (VS), sendo esta medida pelo DGPS. Se a vazão for **MAIOR** que a necessária (por exemplo no caso da velocidade **diminuir**), a caixa de controle envia um comando elétrico para que a **VÁLVULA ELÉTRICA feche**, até que a vazão que passa pela turbina seja igual àquela desejada. Se, ao contrário, a vazão for **MENOR** que a necessária (por exemplo, no caso da velocidade aumentar), a caixa de controle comanda a maior abertura da **VÁLVULA ELÉTRICA**.

O quadro a seguir exemplifica as três situações citadas acima, para uma Taxa de Aplicação de 30 litros / hectare e largura de faixa de 15 metros:

<i>Vazão na turbina</i>	<i>Velocidade (VS)</i>	<i>Taxa de Aplicação momentânea</i>	<i>Ação da válvula elétrica</i>	<i>Vazão resultante</i>	<i>Taxa de aplicação resultante</i>
120 lpm	160 km/h	30 l/ha	Nenhuma	120 lpm	30 l/ha
120 lpm	170 km/h	28,2 l/ha	Abrir	127,5 lpm	30 l/ha
120 lpm	150 km/h	32 l/ha	Fechar	112,5 lpm	30 l/ha

Figura 2 – Funcionamento do Controlador Automático de Vazão

A **operação** do sistema é bastante simples:

a) O piloto introduz, no DGPS, os dados necessários que são LARGURA DE FAIXA e TAXA DE APLICAÇÃO DESEJADA, assegurando-se também de que o **número de calibração da turbina** está correto.

b) Com o controlador desativado – apenas monitorando o fluxo - o piloto calibra o avião da forma convencional, com água apenas, de forma a se assegurar que o equipamento, uma vez aberta a válvula manual até atingir o limitador de curso proporcione uma vazão em torno de 20 a 30% da vazão desejada (ou a percentagem máxima que ele espera possa variar a velocidade durante a aplicação). Por exemplo, desejando 120 litros / minuto (30 litros / hectare no exemplo acima), posiciona o limitador de curso de forma que, a 160 km / hora, o equipamento aplique 144 litros/minuto (20% a mais) ou 156 litros/minuto (30% a mais). De forma correspondente, as taxas de aplicação seriam respectivamente 36 e 39 litros / hectare.

c) Após, o piloto ativa o controlador automático e verifica se, na velocidade normal de aplicação (160 km /hora, no exemplo), o controlador passa a ajustar taxa de aplicação em 30 litros / hectare, tolerando-se uma variação de aproximadamente 3%. Após, aumenta a velocidade em torno de 10 a 20% e verifica se a taxa de aplicação se mantém estável em torno de 30 litros/hectare. Finalmente, coloca a velocidade de vôo em cerca de 10 a 20% abaixo da velocidade normal e, da mesma forma, verifica se o controlador atua no sentido de compensar a variação de velocidade, mantendo constante a TAXA DE APLICAÇÃO.

O sistema acima descrito atua, portanto no sentido de manter constante a taxa de aplicação, variando a vazão de acordo com a velocidade. Por isso é conhecido como CONTROLADOR DE VAZÃO À TAXA CONSTANTE, sendo muito útil para manter constantes a taxa de aplicação e a dose em situações de variação de velocidade, comuns na aplicação aérea.

As causas mais comuns de variação de velocidade são:

a) Ventos (as componentes do vento de proa ou de cauda são uma das maiores causas de variação da velocidade). Ao contrário do que se possa pensar, as bombas “eólicas” NÃO compensam as variações de velocidade devidas a este componente, já que a velocidade aerodinâmica do avião não se altera.

b) Topografia. Em terrenos ondulados é praticamente inevitável o aumento de velocidade no declive e sua redução nos aclives.

c) Densidade do ar. Em dias ou localidades de ar menos denso (maior altitude), as

velocidades em relação ao solo aumentam.

d) Carga do avião. Se não houver adequada compensação através de ajuste de potência, a velocidade aumenta à medida de o avião se torna mais leve, pela redução de sua carga.

Os gráficos a seguir ilustram o funcionamento real de um sistema de Controle Automático à Taxa Constante:

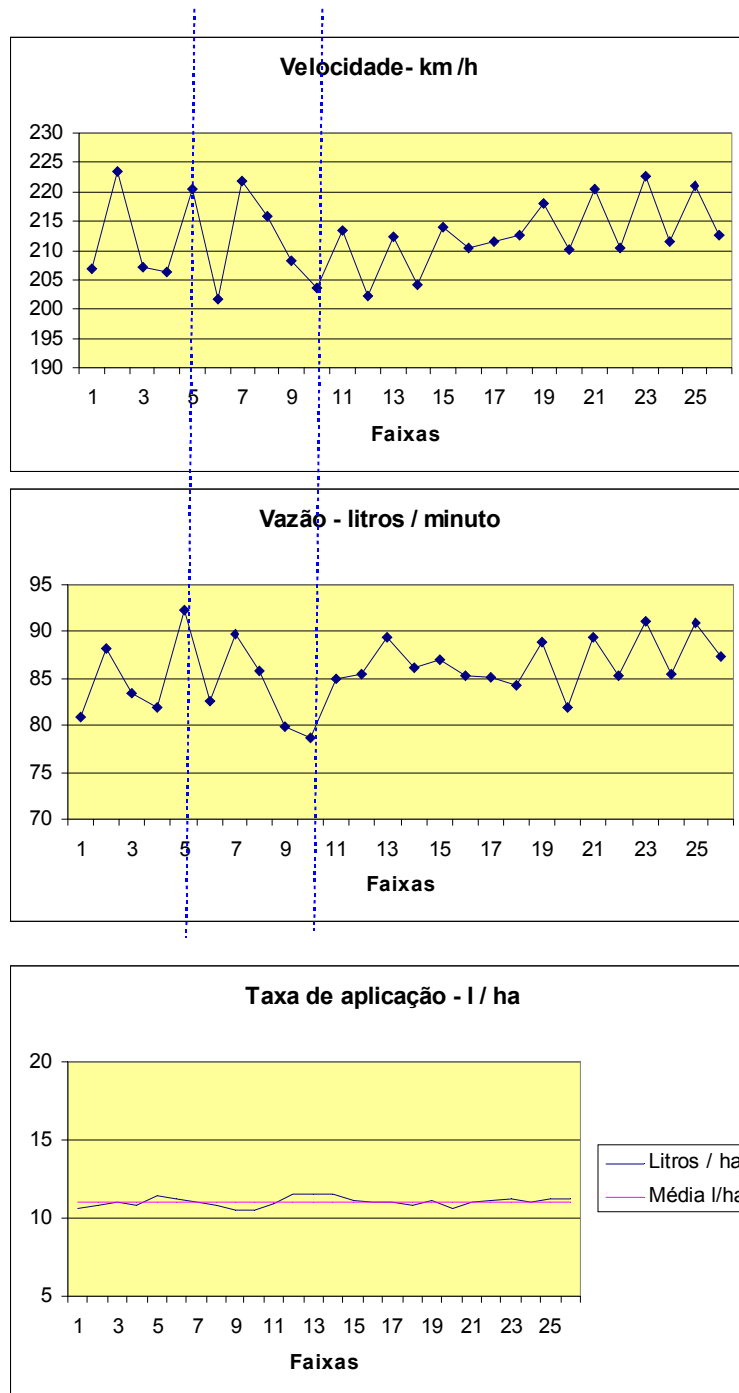


Figura 3 – Gráficos de funcionamento do Controlador Automático de Vazão

Ao observar os gráficos anteriores, ao longo das duas linhas pontilhadas verticais, vemos que a

um “pico” no gráfico da velocidade (velocidade mais alta) corresponde também um “pico” no gráfico da vazão (l/min), ou seja, o equipamento atuou no sentido de compensar o aumento da velocidade, aumentando a vazão. Já quando a velocidade cai (uma depressão no gráfico da velocidade), também a vazão é reduzida, para compensar (depressão no gráfico da vazão). Como resultado temos o terceiro gráfico (taxa de aplicação, em litros/ha), variando muito pouco em torno da taxa média, de 11,0 litros/ha,

3. Aplicação Aérea com TAXA VARIÁVEL

Há situações em que, ao contrário da anterior, é desejado variar a DOSE de um produto de acordo com a seção da lavoura sobrevoada, sem a necessidade de interromper o vôo, fazer nova carga, etc.. No entanto, dentro de cada seção, tal dose deve ser mantida constante, independentemente das variações de velocidade do avião. Há hoje duas técnicas para atingir tais objetivos

- Aplicação Aérea com **Taxa Variável e Diluição fixa** e,
- Aplicação Aérea com **Taxa Constante e Diluição Variável**.

3.1. Aplicação Aérea com Taxa Variável e Diluição fixa

É o método atualmente já disponível em alguns equipamentos DGPS e Controles de Vazão, para aviões. O segundo método, já existente em alguns equipamentos terrestres, está ainda em desenvolvimento para aviões, sendo muito mais complexo.

No método de **aplicação à taxa variável e diluição fixa**, é feito automaticamente o ajuste da dose do produto **mediante a variação da taxa de aplicação** (daí o nome do sistema). A diluição do produto na calda é fixa e é feita geralmente na proporção da **dose média**. Ao ser necessário um aumento na dose, um comando é enviado para que a válvula elétrica abra, atuando no sentido oposto onde é necessária uma dose menor. Enquanto voando sobre as seções da lavoura correspondentes a cada dose, o sistema deve se comportar como um sistema de taxa constante, compensando as variações de velocidade, no sentido de manter constante a taxa – e a dose – de aplicação, naquele setor.

Para que um avião agrícola possa trabalhar com um sistema de taxa variável ele deverá ter um DGPS, um Controlador de Vazão e um Programa (Software), todos com tal capacidade. Um exemplo desta combinação é o sistema DGPS “**Airstar M3**”, acoplado a um Controlador de Vazão “**Aerial Ace**” e usando o programa “**AirTrac**”, todos produzidos pela Hemisphere GPS, mais conhecida no Brasil através de uma de suas marcas (Satloc).

Ainda, para que o conjunto possa trabalhar com Taxas Variáveis, é necessário alimentar o equipamento DGPS com um arquivo de computador denominado “**Mapa de Prescrição**”. O Mapa de Prescrição é um arquivo que numericamente representa o mapa da lavoura a ser tratada, no qual estão identificados como “polígonos” os setores da lavoura e, nestes, a TAXA DE APLICAÇÃO necessária em cada um. Os polígonos são delimitados por coordenadas geográficas. Assim, toda vez que o equipamento DGPS detecta, pelas coordenadas geográficas, que o avião saiu de um polígono e entrou em outro, imediatamente comanda o sistema para alterar a vazão e, conseqüentemente, a taxa de aplicação e a dose de produto. Obs. Na verdade, o comando para alterar a dose é enviado ao equipamento um pouco antes de o avião sair de um polígono e entrar em outro. Este intervalo de tempo, da ordem de meio segundo aproximadamente, é ajustável pelo operador de forma a adaptar-se à velocidade do avião e ao tempo de reação do sistema.

A seguir, um exemplo – simplificado – de um Mapa de Prescrição:

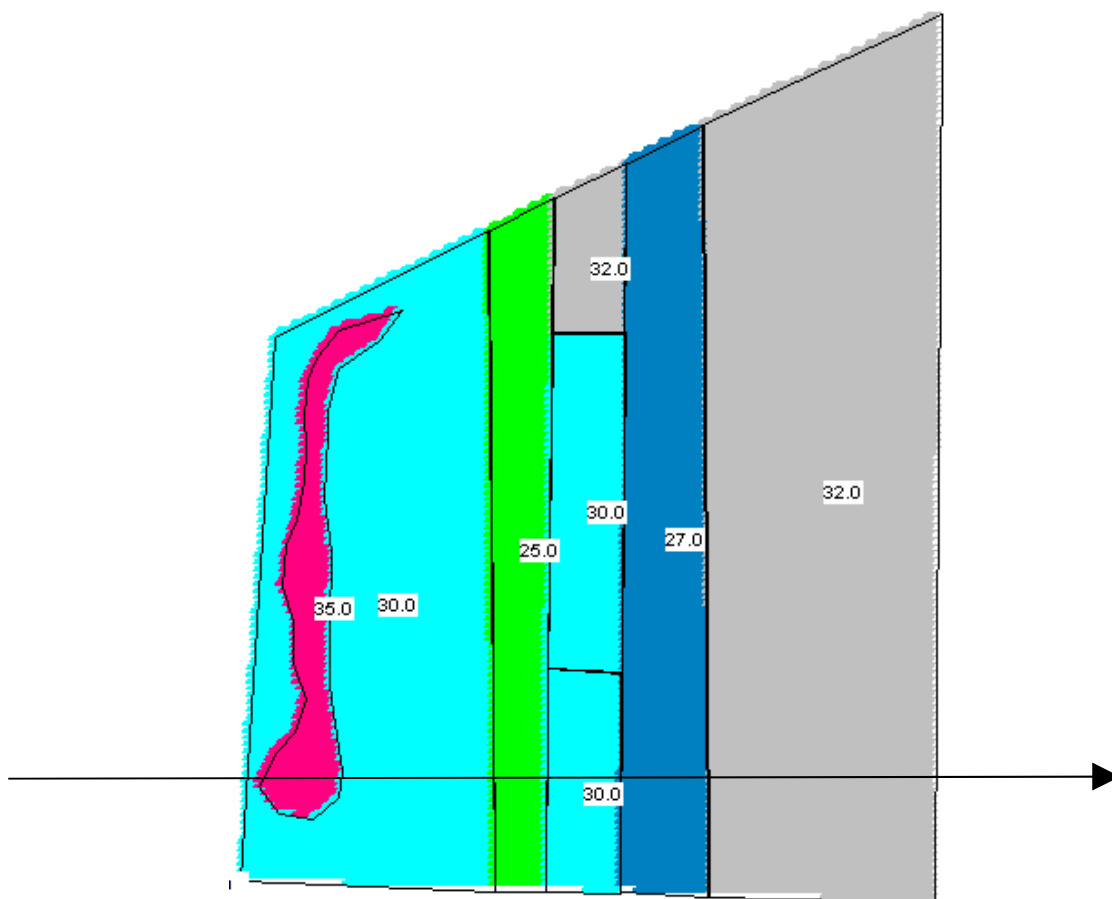


Figura 4 – Mapa de Prescrição ~: Aplicação Aérea com Taxa de Aplicação Variável

No exemplo acima, estando o avião sobrevoando a seção de cor azul-claro (marcada com 30.00), o sistema será ajustado automaticamente para aplicar 30 litros/hectare. Ao entrar na seção (polígono) de cor vermelha, marcado com 35.00, a válvula receberá um comando do GPS para abrir mais, de forma a aplicar 35 litros /hectare. Ao sobrevoar o polígono de cor verde (25.0) passará a aplicar 25 litros / hectare, e assim sucessivamente.

A tabela a seguir mostra as variações de taxa de aplicação e da dose do produto, considerando:

- taxa-padrão (taxa de diluição) = 30 litros /ha (ou seja, 0,5 litros de produto para cada 30 litros de calda)

<i>Polígono</i>	<i>Taxa de aplicação</i>	<i>Dose</i>
Azul claro (30.0)	30.0 litros/ha	0,50 litros / ha
Vermelho (35.0)	35.0 litros/ha	0,58 litros/ha
Verde (25.0)	25.0 litros/ha	0,42 litros/ha
Azul escuro (27.0)	27.0 litros/ha	0,45 litros/ha
Cinza (32.0)	32.0 litros/ha	0,53 litros/ha

Conforme anteriormente explicado, dentro de cada um dos polígonos o equipamento funcionará como sendo um controlador de taxa constante, isto é, variará a vazão conforme a velocidade do avião, de forma a manter constante a taxa de aplicação.

O sistema de aplicação a taxa variáveis também pode, opcionalmente, ser dotado de um sistema de fechamento automático de forma a interromper a aplicação quando detectado algum setor do Mapa de Prescrição marcado como 0 (zero). A estes polígonos aos quais se atribui o valor 0.00 se dá o nome de “Polígonos de Exclusão” e podem ser constituídos, por exemplo, por açudes, rios e outras áreas que não podem receber o produto em aplicação.

Uma das limitações do sistema em Taxa Variável está nas eventuais limitações impostas pelo equipamento de pulverização (bicos ou atomizadores) : nem todos os bicos / atomizadores permitem a variação de taxa de aplicação necessária para atingir os limites de taxa de aplicação, considerando, ainda, a necessidade de aumentar ainda mais a taxa de aplicação em função de variações de velocidade do avião.

Outra limitação decorre da influência das variações de Taxa de Aplicação – e conseqüentemente da Pressão e Vazão – sobre o espectro de gotas. Os bicos hidráulicos, principalmente, têm o espectro de gotas bastante influenciado pela pressão / vazão. Assim, ao aumentar-se a a pressão e vazão para aumentar a dose, estamos impondo grandes modificações no espectro de gotas. Por tal razão, de um modo geral os atomizadores rotativos são mais indicados para este tipo de aplicação, já que o espectro de gotas, neles, é menos influenciado pelo aumento da pressão / vazão.

Visando minimizar o efeito sobre os espectro de gotas, vem sendo desenvolvido, para aviões, o sistema denominado “**Aplicação com Taxa Constante e Diluição Variável**”

3.2 Aplicação Aérea com Taxa Constante e Diluição Variável.

Este sistema, ainda não disponível comercialmente para aviões agrícolas, usa um sub-sistema de TAXA CONSTANTE para aplicar apenas água e um sub-sistema de TAXA VARIÁVEL para dosagem do produto. A diluição é feita no momento da aplicação, mediante injeção direta do produto nas barras, pelas quais está sendo aplicada água à **taxa constante**.

Os mapas de prescrição, semelhantes aos descritos anteriormente, neste sistema informam a **dose do produto** (e, não, a taxa de aplicação). Ao passar de uma seção à outra da lavoura (polígono) apenas o sub-sistema de produto tem sua válvula atuada para modificar a diluição – e a dose – do produto. O sub-sistema que controla a água atua, apenas, de acordo com as variações de velocidade do avião, de forma a manter constante a taxa de aplicação.

Naturalmente, para usar o sistema de Taxa Constante e Dose Variável é necessário que o avião disponha de sistemas separados para a água e para o produto (dois tanques, duas válvulas, duas turbinas, etc.). Este método de aplicação, por complexo e caro estará limitado a aplicações muito especiais. Ainda, o método estará limitado ao uso de produtos empregados em doses muito baixas, já que o tanque de produtos não pode ter grandes dimensões.

A seguir um esquema – mera ilustração - de um sistema do tipo descrito:

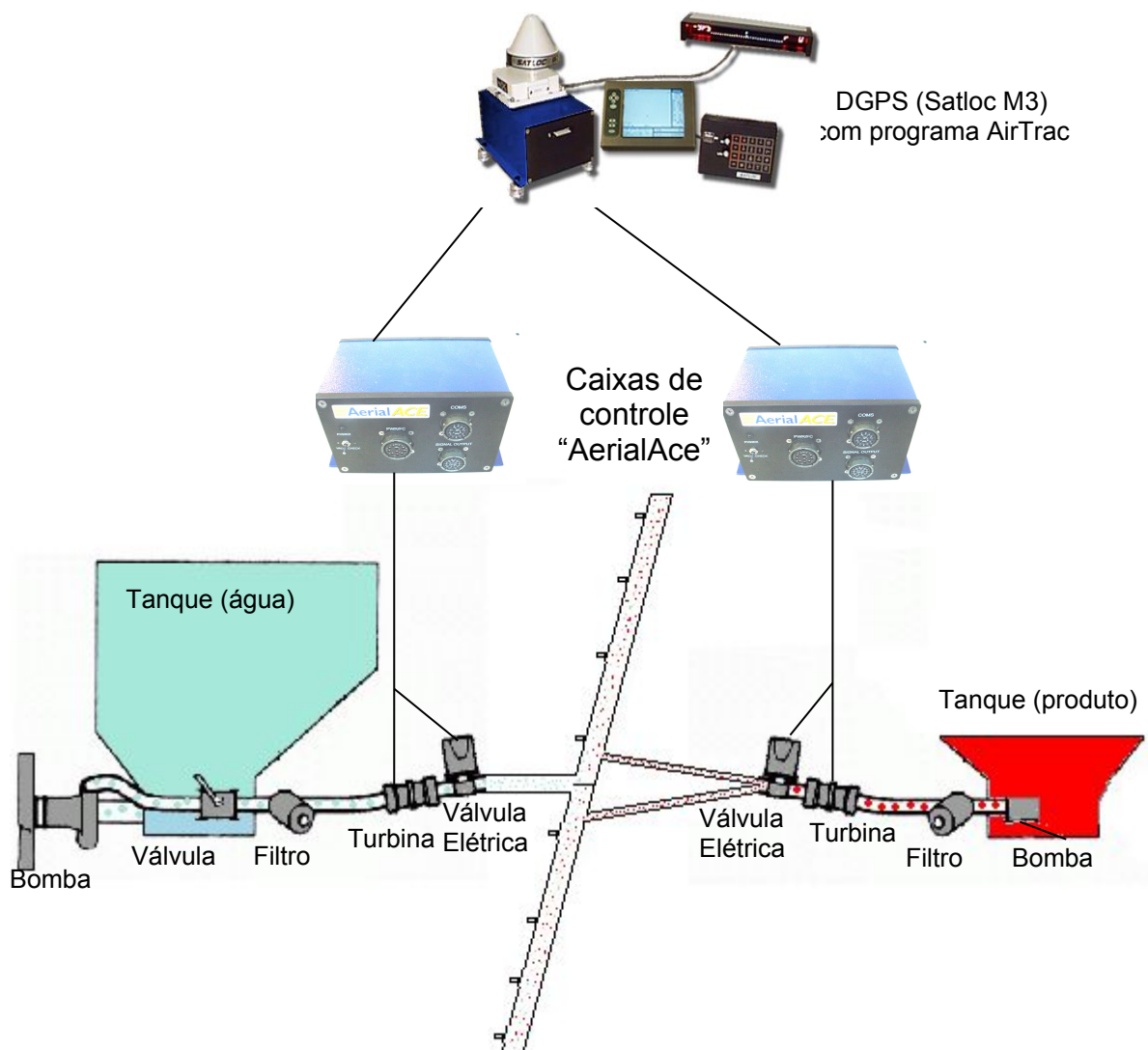


Figura 5 – Esquema de um Controlador Automático Taxa Constante / Dose Variável

Referências:

Araújo, Eduardo C. : Aplicação Aérea de Precisão. Tecnologia de Aplicação de Defensivos Agrícolas, Atualidades Técnicas, 2. pág 81-98,2006.

Hemisphere, LLC : AirStar M3: Manual de operação. 2005

Hemisphere, LLC : MapStar: manual do usuário, versão 5.2. 2006